

## Perhitungan Tahanan dan Daya Mesin pada Kapal Mini LNG berbasis Simulasi Numerik

Kusnindar Priohutomo<sup>1,a</sup>, Endah Suwarni<sup>2,b</sup>

<sup>1,2</sup>Balai Teknologi Hidrodinamika, Indonesia

<sup>a</sup>kusnindar.priohutomo@gmail.com

### Abstrak

Kebutuhan akan kapal Mini LNG (*small LNG carrier*) di Indonesia semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan pasokan LNG dari LNG *field* ke pulau-pulau di Indonesia bagian timur. Distribusi LNG ke pulau-pulau di Indonesia bagian timur kurang efektif bila menggunakan kapal LNG yang berukuran besar karena tidak adanya infrastruktur pipa gas untuk menyalurkan LNG dari terminal LNG di pelabuhan ke pengguna. Dengan kapal mini LNG maka pendistribusian LNG bisa menggunakan tangki-tangki LNG kecil yang nantinya akan dibawa oleh kendaraan darat setelah kapal bersandar di pelabuhan. Untuk mendesain sebuah kapal mini LNG diperlukan berbagai macam perhitungan yang tepat agar nantinya kapal yang dibangun akan memiliki performa yang baik dan efisien. Salah satunya yang harus dihitung adalah tahanan kapal dan daya mesin yang akan dipasang. Pada paper ini kajian difokuskan pada perhitungan tahanan kapal dan daya mesin menggunakan metode simulasi numerik. Hasil dari paper ini untuk tahanan kapal pada kondisi *full load* sebesar 234,33 kN dan untuk kondisi *half load* memiliki tahanan sebesar 208,18 kN. BHP engine pada kondisi *full load* sebesar 2852,7 HP dan pada kondisi *half load* sebesar 2533,5 HP.

**Kata kunci:** Kapal Mini LNG, tahanan kapal, daya mesin kapal, simulasi numerik, *full load*, *half load*

### Abstract

The demand for small LNG carriers in Indonesia is increasing along with the increasing demand for LNG supply from the LNG field to the islands in eastern Indonesia. The distribution of LNG to islands in eastern Indonesia is not efficient if using a larger LNG carrier because in the islands there is no a gas pipeline infrastructure to distribute LNG from the LNG terminal at the port to the user. With a small LNG carrier, the distribution LNG can use a small LNG tank that will be taken by land vehicles after the ship rests at the port. To design a small LNG ship, various calculations are needed so that the ship being built will have a good and efficient performance. One of them that must be calculated is the ship's resistance and engine power to be installed. In this paper the assessment of ship resistance and power engine using numerical simulation methods. The results of this paper are for ship resistance at full load conditions of 234.33 kN and for half load conditions of 208.18 kN. BHP engine at full load conditions of 2852,7 HP and BHP engine at half load conditions of 2533,5 HP.

**Keywords:** Small LNG carrier, ship resistance, ship power engine, numerical simulation, full load, half load

## Introduction

*Small scale LNG Carrier* atau *small LNG tanker* adalah kapal yang digunakan untuk mengangkut gas alam cair (LNG) dalam jumlah tidak terlalu banyak. Kapal jenis ini digunakan untuk wilayah dimana belum atau tidak ada saluran pipa gas, atau wilayah yang dari sisi ekonomis atau teknis yang tidak memungkinkan untuk dibangun instalasi saluran pipa gas [1]. Kata “small” atau “kecil” berdasarkan pada volume angkut LNG (dan ukuran kapal) maksimum hanya sampai 40.000 cbm (meter kubik). Kapal *LNG Carrier* biasa umumnya mampu mengangkut LNG dengan kapasitas 120.000 – 270.000 cbm dan berlayar antar benua (*seagoing ship*) dengan waktu layar lebih dari 1 minggu. Sementara untuk kapal *small LNG* digunakan untuk berlayar sekitar 1000 ml laut dengan waktu layar 3 – 4 hari. Kapal *small* atau mini LNG di Indonesia belum terlalu banyak yang beroperasi, dari beberapa kapal tersebut terdapat milik PT. Humpuss Intermoda Transportasi dengan kapal “Surya Satsuma” yang memiliki panjang 151 m, lebar 28 m dengan *draft* 7.02 m. Kapal ini mampu mengangkut LNG berkapasitas 22.500 cbm.

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) memiliki program Inovasi Teknologi Alat Angkut Maritim dimana salah satu didalamnya adalah men-desain kapal Mini LNG untuk perairan Indonesia. Kapal ini diharapkan mampu untuk berlayar di seluruh perairan Indonesia mulai dari ujung barat sampai ujung timur Indonesia. Untuk itu diperlukan kajian desain yang memiliki tingkat keakurasian tinggi mulai dari bentuk lambung kapal, sistem propulsi kapal, sistem peng-angkut LNG, sistem kelistrikan dan lain-lain.

## Tinjauan Pustaka

Untuk dapat men-desain sebuah kapal yang mampu beroperasi dengan baik maka literature atau tinjauan pustaka yang digunakan harus mengakomodasi berbagai sumber pengetahuan. Untuk saat ini banyak yang menggunakan bantuan program numeric untuk mendapatkan data karakteristik kapal antara lain tahanan kapal. Metode ini dinamakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Untuk memastikan apakah metode numeric menggunakan CFD dapat membantu dalam mendesain kapal maka tinjauan pustaka difokuskan pada paper yang membahas tentang metode numeric menggunakan CFD antara lain paper penelitian dengan judul “*Model test and simulation of a ship with wavefoils*” [2]. Dimana pada paper ini membahas tentang pengujian model kapal tanker yang diberi penambahan berupa sirip (*wavefoil*) pada bagian bow dengan tujuan untuk mengurangi tahanan kapal (*resistence*) dan olah gerak kapal (*motion*) pada saat kapal berlayar. Pendekatan yang dilakukan adalah dengan melakukan perbandingan antara hasil pengujian model dengan hasil simulasi numeric berbasis *time-domain simulations*.

Gaya yang mengenai *wavefoil* dihitung menggunakan model *slightly-modified Leishman-Beddoes*. Pengujian dilakukan menggunakan model dengan skala 1:16.57 dengan desain dari Rolls-Royce Marine. Pengujian dilakukan di MARINTEK Towing Tank Norway. Untuk simulasi numeric menggunakan VeSim dari *Norwegian University of Science and Technology*. Dari penelitian yang dilakukan didapatkan hasil dengan menambahkan *wavefoil* pada bagian depan kapal maka tahanan kapal berkurang 9-17% pada saat menghadapi gelombang dari depan (*head seas*), sedangkan untuk *heave* dan *pitch* berkurang antara 11–25%.

Penelitian lain dengan judul “*A geosim analysis of ship resistance decomposition and scale effects with the aid of CFD*” [3]. Paper ini membahas tentang penggunaan software CFD didalam menganalisa tahanan kapal (*resistance*). Pendekatan metode CFD ini bertumpu pada persamaan *Reynolds Averaged Navier Stokes* (RANS). Pada paper ini juga menunjukkan komponen yang

mempengaruhi tahanan kapal pada berbagai bentuk kapal yang dianalisa menggunakan pendekatan CFD. Cara melakukan *extrapolasi resistance* model kapal juga berpengaruh terhadap hasil perhitungan tahanan pada kondisi *full scale*. Ekstrapolasi tahanan kapal dibedakan menjadi dua metode yaitu metode 2D yang dikembangkan oleh Froude dan metode 3D yang dikembangkan oleh Hughes. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan. Hasil dari paper ini adalah besaran ketidakpastian dari perhitungan CFD *model scale* yang dikonversikan ke *full scale* tergantung dari pendekatan yang dipilih.

Paper lain meneliti tentang “*Numerical studies on effect of slosh coupling on ship motions and derived slosh loads*” [4], membahas tentang gerakan kapal yang dipengaruhi oleh *sloshing* akibat cairan yang termuat didalam kapal pada berbagai kondisi. Solusi *potential flow* untuk *motion* kapal menggunakan *boundary element method* (BEM) berbasis *Green’s function*, sementara untuk solusi permasalahan *sloshing* menggunakan *finite volume method* (FVM) berbasis *multiphase interface capturing volume of fluid* (VoF) teknik. Validasi dilakukan menggunakan metode *experiment*. Hasil dari paper ini adalah pentingnya untuk mengetahui efek dari *sloshing coupling* pada contoh kasus kapal LNG FSPO. Dimana dari hasil penelitian ini diketahui bahwa tekanan pada lambung kapal yang disebabkan oleh pergerakan kapal tanpa memperhatikan efek dari *sloshing* menyebabkan over estimasi dibandingkan dengan perhitungan yang memasukkan efek dari *sloshing*.

Paper berikutnya yang membahas tentang penggunaan aplikasi CFD dengan judul “Studi kelayakan desain kapal hisap tambang” [5], membahas tentang studi kelayakan dalam hal desain kapal hisap tambang, dimana pada tahapan ini perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada lambung kapal dapat diketahui dan dianalisa apakah masih didalam toleransi yang di-ijinkan oleh *International Maritime Organization* (IMO) dan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Studi kelayakan ini difokuskan pada analisa stabilitas dan tegangan geser yang bekerja pada kapal. Metode numerik digunakan pada paper ini melalui software Ansys Mechanical. Berdasarkan paper ini didapatkan kesimpulan bahwa pada kondisi *load case, angle of minimum* (GZ) kurang dari standar yang ditetapkan oleh IMO yaitu 25 derajat. Sedangkan shear stress pada berbagai kondisi *load case* masih memenuhi kriteria yang ditetapkan oleh BKI yaitu kurang dari 100 MPa.

Paper berikutnya yang juga merupakan literature penting yaitu paper dengan judul “ Studi perancangan kapal LNG 3150 DWT rute pelayaran Blok Masela-Tanjung Mas” [6] dimana dijelaskan pada paper ini diperlukan kapal LNG untuk mengangkut LNG yang dihasilkan di Blok Masela dimana blok Masela memiliki cadangan sebesar 10,73 *trillion cubic feet* (TCF). Dengan dioperasikannya kilang terapung (FLNG) maka diperlukan alat transportasi berupa kapal LNG untuk mempermudah pendistribusian LNG ke berbagai wilayah. Perancangan kapal menggunakan software Maxsurf dan Rhinoceros untuk pemodelan dan analisa karakteristik kapal.

Ukuran utama kapal pada paper ini adalah LPP = 99 m, B = 17,2 m, H = 10,92 m, T = 5,5 m dan memiliki displacement 7256 ton. Dari hasil perhitungan didapatkan untuk tahanan kapal sebesar 166,4 kN dan daya mesin sebesar 1493 HP, dimana kapal memiliki stabilitas yang baik sesuai standar dari IMO.

Berdasarkan buku yang ditulis oleh [7] menyebutkan kapal mini LNG (*mini LNG carrier*) memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan kapal LNG (*LNG carrier*) antara lain dengan menggunakan kapal mini LNG maka dapat mengatasi beban puncak pada konsumen, dapat mengatasi perkembangan kebutuhan konsumen secara cepat, dapat memberikan suplai ke pulau-pulau kecil karena memiliki *draft* yang rendah, kapal mini LNG hanya memerlukan terminal penerima berukuran kecil, kompleksitas lebih rendah dan *re-balancing* stok di semua terminal. Dari beberapa literature tersebut, maka penulis melakukan kajian tentang perhitungan tahanan dan kebutuhan daya mesin

kapal Mini LNG, dimana desain dari kapal Mini LNG tersebut adalah desain yang dibuat oleh tim desain Kapal Mini LNG BPPT dengan mempertimbangkan berbagai kriteria. Metode yang digunakan pada perhitungan prediksi tahanan dan propulsi kapal ini adalah metode numerik dengan menggunakan software *Rhinoceros* dan *Orca 3D*.

### Research Methodology

Metodologi penelitian digunakan untuk memperjelas langkah-langkah yang dikerjakan pada suatu penelitian. Pada paper ini metodologi penelitian dibagi menjadi beberapa bagian antara lain:

#### 1. Dimensi Utama Kapal

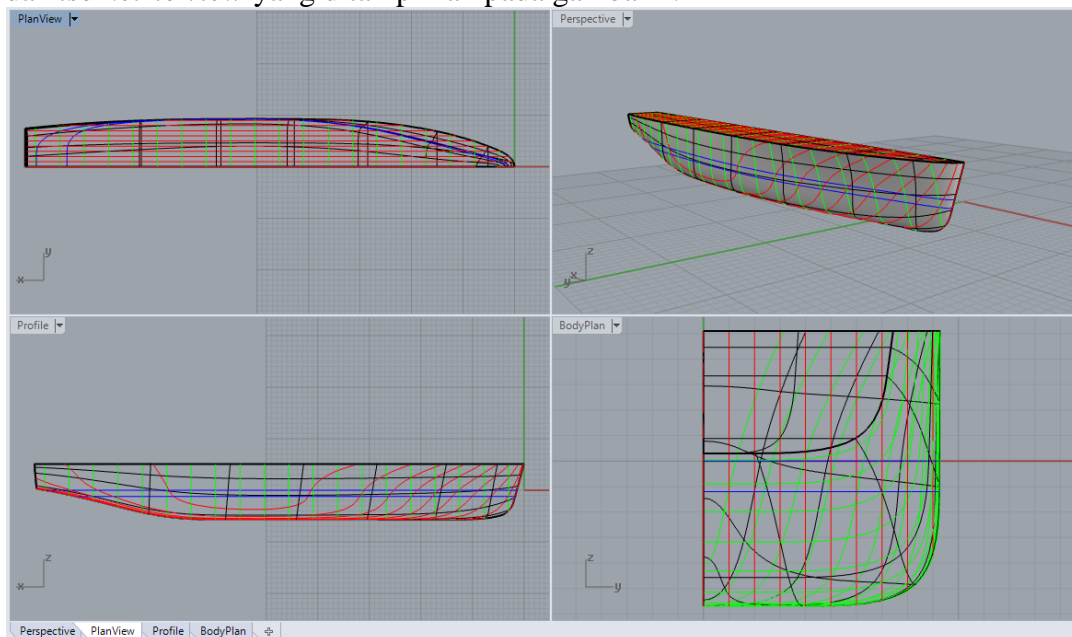
Ukuran utama merupakan salah satu tahapan yang harus ditentukan diawal men-desain sebuah kapal. Pada paper ini ukuran utama ditetapkan berdasarkan klasifikasi kapal mini LNG pada literature paper yang membahas tentang kapal LNG. Untuk sarat kapal (*draft*) dibuat menjadi 2 sarat yaitu sarat 1 pada kondisi muatan penuh (*full load*) dan sarat 2 pada kondisi muatan kosong (*half load*). Adapun ukuran utama kapal mini LNG ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal Mini LNG

Panjang (LOA)	95	m
Lebar (B)	18,6	m
Tinggi (H)	10,8	m
Sarat 1 (T)	5,7	m
Sarat 2 (T)	4,5	m
Displacement ( $\Delta$ )	6114,2	ton

#### 2. Pembuatan Drawing Kapal Mini LNG

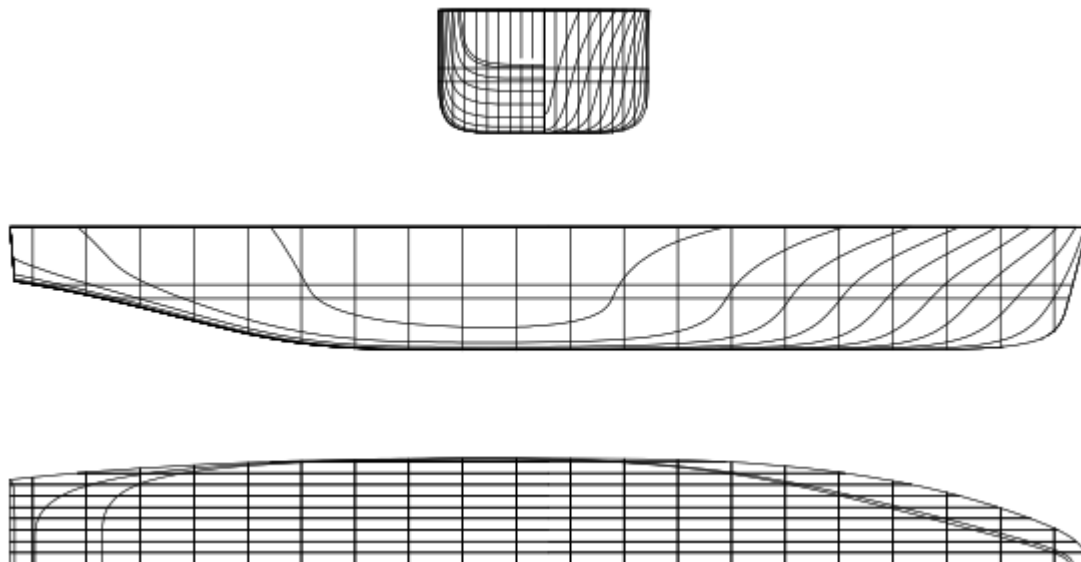
Setelah dimensi utama ditentukan selanjutnya akan dilakukan proses penggambaran kapal menggunakan software untuk mempermudah pekerjaan drawing. Penggambaran kapal dilakukan menggunakan software Orca 3D dimana dengan menggunakan software ini gambar kapal akan tampak pada 4 pandangan yaitu *plan view*, *profile view*, *bodyplan view* dan *isometric view* yang ditampilkan pada gambar 1.



Gambar 1. Kapal Mini LNG Orca 3D

3. Pembuatan Lines Plan Kapal Mini LNG

Setelah dilakukan penggambaran menggunakan software Orca 3D, langkah selanjutnya adalah membuat rencana garis (*lines plan*) kapal mini LNG. Rencana garis adalah gambar desain kapal yang berisi informasi utama kapal antara lain panjang, lebar, tinggi dan sarat. Desain ini berupa garis—garis irisan kapal yang dinamakan *station*, *buttock* dan *waterline*. Pembuatan rencana garis dilakukan menggunakan software *Rhinoceros*. Untuk tampilan rencana garis ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Lines Plan Kapal Mini LNG

4. Prediksi Tahanan Dan Propulsi Kapal Berbasis Simulasi Numerik

Perhitungan menggunakan simulasi numerik dilakukan menggunakan software *Orca 3D*, dimana software *Orca 3D* merupakan software plugin dari *Rhinoceros* yang memiliki spesialisasi dibidang teknik perkapalan (*naval architecture*). Setelah dilakukan pembuatan model 3D kapal maka dapat dilakukan analisa *hydrostatic*, *stability* dan *speed/power prediction* menggunakan software *Orca 3D*.

Untuk paper ini analisa prediksi tahanan kapal dan daya efektif kapal dilakukan menggunakan metode Holtrop 1984, dimana hasil analisa dari *Orca 3D* untuk analisa tahanan dihasilkan beberapa output antara lain:

- *Froude number* (Fn)

Dasar perhitungan *Froude number* (Fn) yang tercantum pada buku [8] dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g \times LWL}} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan:

- V = kecepatan kapal (m/s)
- g = gaya gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- LWL = panjang garis air (m)

- Koefisien tahanan friksi (Cf)

Untuk koefisien tahanan friksi (Cf) dalam buku [8] diatur juga persamaan yang dapat dihitung adalah:

$$C_f = \frac{0.075}{\log_{10} Re - 2.2} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan:

$C_f$  = koefisien tahanan friksi

$Re$  = reynolds number

- Perhitungan tahanan kapal ( $R_t$ )

Perhitungan tahanan total kapal menurut jurnal yang dikeluarkan oleh [9] menyatakan bahwa perhitungan tahanan kapal dapat menggunakan persamaan:

$$R_t = \frac{1}{2} \rho x v^2 x S_{tot} x [C_f + C_a] + R_{wx} W \dots\dots\dots(3)$$

Dengan:

$\rho$  = massa jenis air laut

- Efektif Horse Power (EHP)

Efektif horse power adalah kebutuhan daya untuk mengatasi gaya hambat dari badan kapal (*hull*), agar kapal dapat bergerak dari satu tempat ke tempat yang lain dengan kecepatan servis sebesar  $V_s$ . Daya efektif ini merupakan fungsi dari besarnya gaya hambat total dan kecepatan kapal. Perhitungan daya efektif pada kapal ada beberapa metode, salah satunya menurut [10] dengan menggunakan persamaan:

$$EHP = R_t x v \dots\dots\dots(4)$$

Dengan:

$R_t$  = tahanan total kapal (N)

$V$  = kecepatan kapal (m.s)

- Delivery Horse Power (DHP)

Delivered horse power adalah besarnya daya yang dihasilkan dari pengurangan EHP dengan koefisien propulsi ( $P_c$ ), dimana  $P_c$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_c = \eta_{rr} x \eta_0 x \eta_H \dots\dots\dots(5)$$

Dengan:

$\eta_{rr}$  = 1.05

$\eta_0$  = 50%

$\eta_H$  = 1.1127

Sehingga:

$$DHP = \frac{EHP}{P_c} \dots\dots\dots(6)$$

- Shaft Horse Power (SHP)

Untuk jenis-jenis kapal yang kamar mesin (engine room) berada di bagian belakang kapal, memiliki kerugian mekanis sebesar 2%, untuk kapal Mini LNG ini, kamar mesin direncanakan diletakkan pada bagian belakang, sehingga untuk menghitung kerugian mekanis dengan persamaan:

$$SHP = \frac{DHP}{0.98} \dots\dots\dots(7)$$

- Power Main Engine (BHP mcr)

Adalah besarnya daya output dari motor penggerak propulsi kapal pada kondisi continuous service rating (CSR), yaitu daya motor pada kondisi 80-85% dari maximum continuous rating (MCR). Artinya daya yang dibutuhkan oleh kapal agar

mampu beroperasi dengan kecepatan sevis (Vs) adalah cukup dengan 80-85% dari daya mesin (engine rated power) dan pada kisaran 100% putaran mesin (engine rated speed). Persamaan untuk menghitung BHP<sub>mcr</sub> adalah:

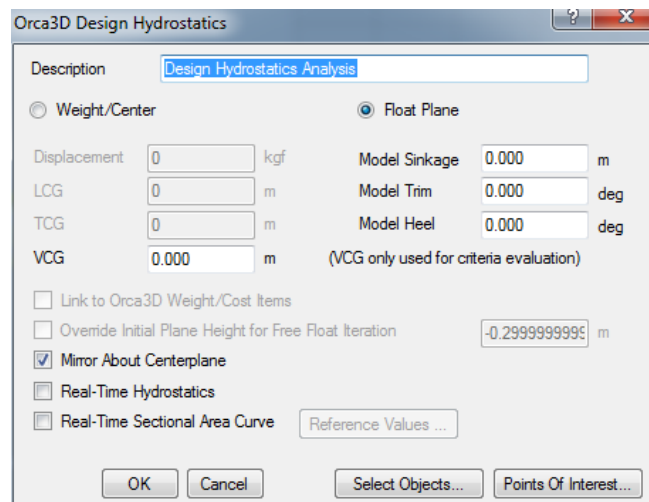
$$BHP_{mcr} = \frac{BHP_{scr}}{0.85} \dots\dots\dots (8)$$

**Hasil dan Pembahasan**

1. *Hydrostatic Analysis*

Tahap pertama dalam simulasi numerik menggunakan *Orca 3D* adalah menentukan *Design Condition*, dimana didalam menu design condition tersebut terdapat menu *design hydrostatic* yang dapat dimasukkan parameter-parameter yang diinginkan, untuk paper ini *design condition* ditampilkan pada gambar 3 dengan inputan adalah:

- Model sinkage = 0 m
- Model trim = 0 m
- Model heel = 0 m
- VCG = 0 m



Gambar 3. Design Condition

2. *Speed/Power Analysis*

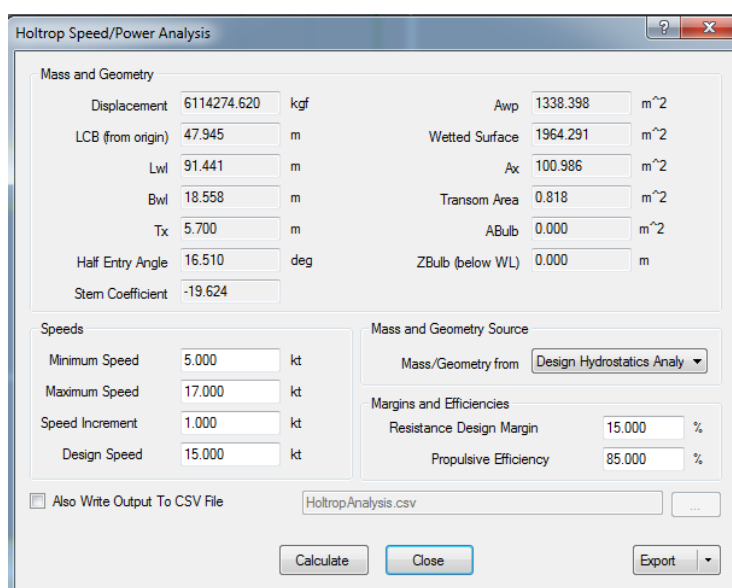
Setelah “*design condition*” dan “*design hydrostatic*” di-iputkan maka selanjutnya adalah melakukan analisa prediksi tahanan dan propulsi menggunakan metode Holtrop, dengan memasukkan gambar 3D, maka software akan menghitung secara langsung untuk berat dan geometri dari kapal yang telah didesain. Untuk kecepatan yang didesain dimasukkan sebagai input kecepatan dengan rincian sebagai berikut:

- Kecepatan minimum = 5 knot
- Kecepatan maksimum = 17 knot
- Penambahan kecepatan= 1 knot
- Kecepatan desain = 15 knot

3. *Sea Margin*

*Sea margin* adalah besaran yang dimasukkan sebagai kompensasi dari pengaruh lingkungan pada saat kapal berlayar seperti angin, arus dan gelombang. Menurut [11] pada papernya menyatakan untuk kapal yang berlayar memiliki *sea margin* berkisar 10-30% tergantung

dari jenis kapal dan rute pelayaran. Untuk paper ini *sea margin* yang dipilih sebesar 15% dengan efisiensi propulsi dengan memperhitungkan 85% BHPmcr.



Gambar 4. Speed Power Analysis

#### 4. Perhitungan Tahanan Kapal Mini LNG

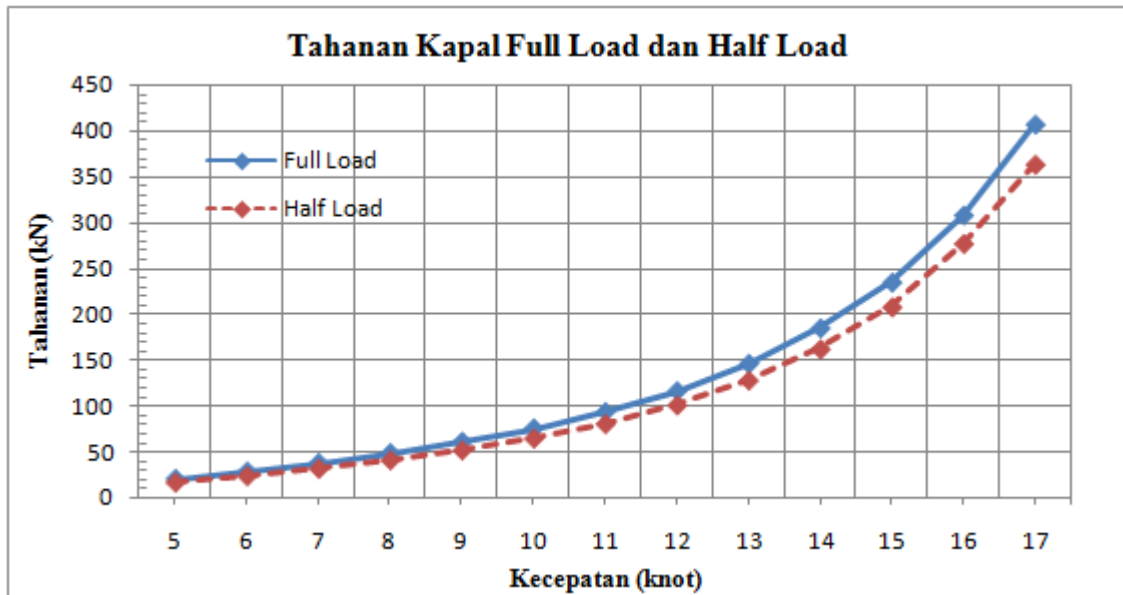
Setelah dilakukan simulasi numeric maka didapatkan hasil perhitungan tahanan metode Holtrop pada kondisi sarat penuh dan sarat setengah ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Tahanan Kapal Full dan Half Load

Kec (knot)	Fn	Rt Fullload (kN)	Rt Halfload (kN)
5	0,09	19,99	17,05
6	0,10	28,04	24,02
7	0,12	37,35	32,12
8	0,14	48,13	41,41
9	0,15	60,52	52,17
10	0,17	75,13	64,99
11	0,19	93,01	80,87
12	0,21	115,75	101,25
13	0,22	145,66	128,27
14	0,24	184,34	162,46
15	0,26	234,33	208,18
16	0,27	307,74	277,25
17	0,29	406,93	363,62

Dari hasil analisa dan perhitungan menggunakan metode numeric pada table 2, ditampilkan secara berurutan dari kolom pertama adalah kecepatan kapal (knot), kolom kedua adalah Froude number (Fn), kolom ketiga adalah tahanan total dengan sarat penuh (kN) dan pada kolom keempat adalah tahana total dengan sarat setengah (kN). Untuk mempermudah pembacaan tabel maka dibuat tampilan grafik yang ditampilkan pada grafik 1.





Grafik 1. Perbandingan Tahanan Full Load dan Half Load

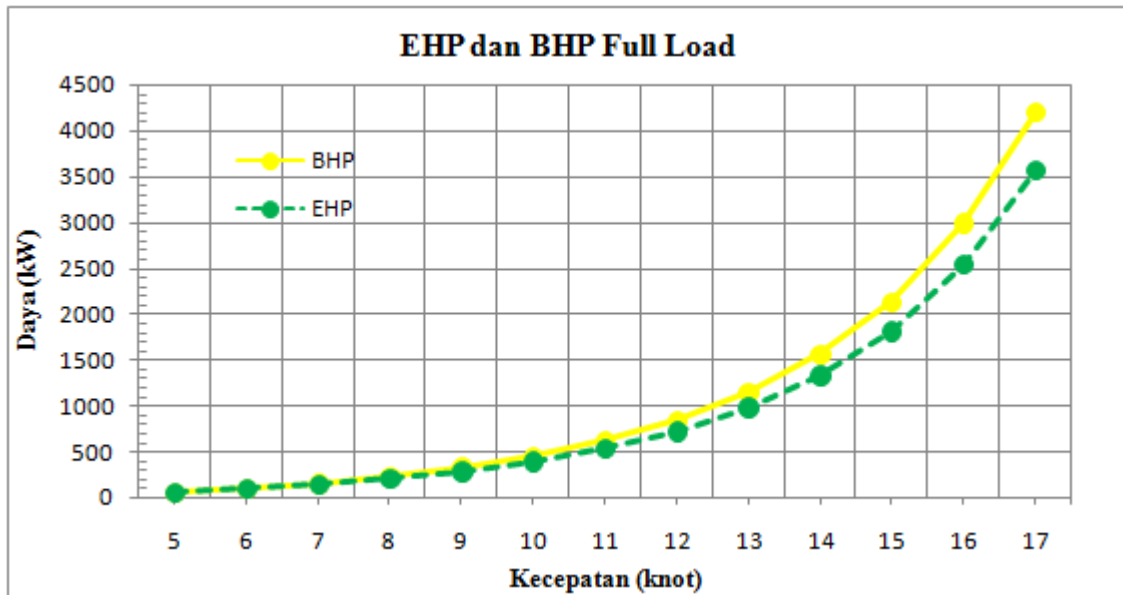
5. Perhitungan Kebutuhan Daya Mesin

Setelah mendapatkan tahanan total maka dapat dihitung kebutuhan daya mesin yang akan dipasang pada kapal. Untuk *efektif horse power* (EHP) dan BHP dari perhitungan numeric didapatkan hasil yang ditampilkan pada tabel 3.

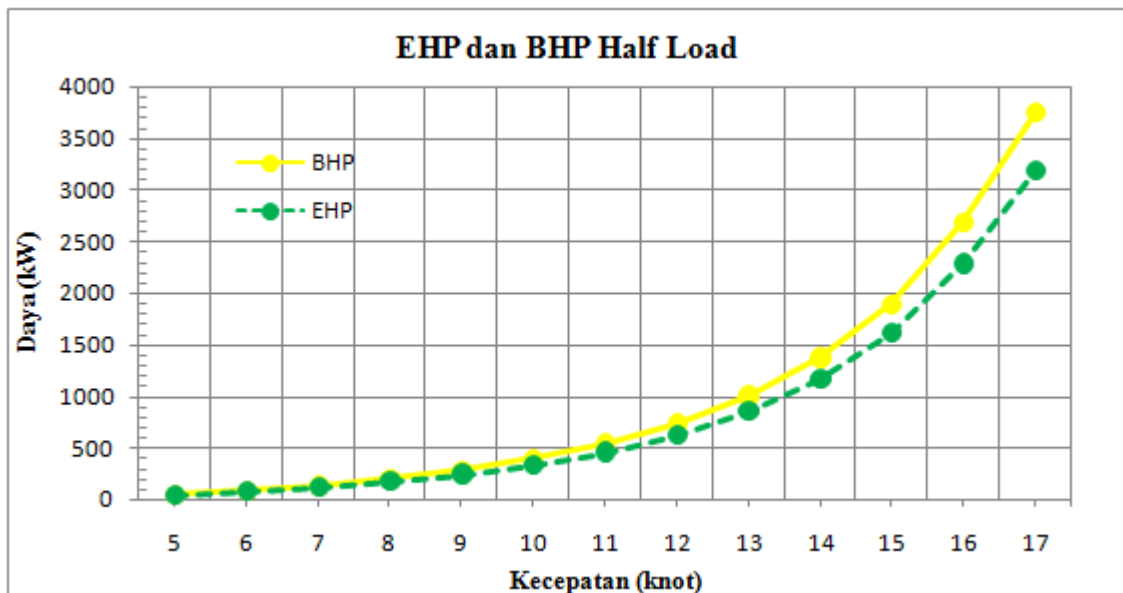
Tabel 3. Hasil Perhitungan EHP dan BHP

Kec (knot)	EHP Fullload (kW)	EHP Halfload (kW)	BHP Fullload (kW)	BHP Halfload (kW)
5	51,43	43,85	60,51	51,59
6	86,57	74,15	101,84	87,24
7	134,52	115,67	158,26	136,08
8	198,07	170,44	233,02	200,51
9	280,19	241,57	329,64	284,20
10	386,48	334,35	454,68	393,35
11	526,36	457,66	619,24	538,42
12	714,59	625,03	840,69	735,33
13	974,15	857,82	1146,06	1009,20
14	1327,69	1170,08	1561,99	1376,56
15	1808,21	1606,45	2127,30	1889,94
16	2533,02	2282,05	2980,02	2684,76
17	3558,79	3180,10	4186,81	3741,29

Dari table 3 dapat dibuat grafik yang menunjukkan perbandingan EHP dan BHP pada kondisi full load dan half load yang ditampilkan pada grafik 2 dan grafik 3.



Grafik 2. Perbandingan EHP dan BHP Full Load



Grafik 3. Perbandingan EHP dan BHP Half Load

### Kesimpulan

Kesimpulan dari yang dapat diambil dari paper ini adalah untuk perhitungan tahanan dan kebutuhan daya akan mesin kapal Mini LNG dapat dihitung menggunakan pendekatan metode numeric berbasis perhitungan tahanan Holtrop, dimana dengan perhitungan Holtrop didapatkan untuk tahanan kapal pada kondisi full load dengan kecepatan servis 15 knot sebesar 234,33 kN sedangkan untuk tahanan kapal pada kondisi half load dengan kecepatan servis 15 knot sebesar 208,18 kN.

Untuk kebutuhan daya mesin, dari hasil perhitungan didapatkan untuk kecepatan servis 15 knot pada kondisi full load membutuhkan EHP sebesar 1808,21 kW dan untuk BHP sebesar 2127,30 kW atau sekitar 2852,7 HP, pada kondisi half load EHP sebesar 1606,45 Kw dan untuk BHP sebesar 1889,94 kW atau sekitar 2533,7 HP. Dari grafik perhitungan numeric didapatkan untuk desain kapal Mini

LNG bila dioperasikan pada kecepatan servis 15 knot memerlukan kapasitas mesin  $\geq 2900$  HP pada kondisi full load, nilai ini dapat diperkecil bila kapal dioperasikan dibawah 15 knot karena pada grafik terlihat kenaikan masih berupa garis linier, untuk kecepatan dibawah 13 knot.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan untuk Balai Teknologi Hidrodinamika yang telah meng-ijinkan menggunakan software Rhinoceros dan Orca 3D ber-lisensi orisinil, sehingga dapat membantu penulis untuk menyelesaikan paper ini.

### References

- [1] J. Maritim, "Small LNG Tanker dan Aplikasinya di Indonesia," 2017. <https://jurnalmaritim.com/small-lng-tanker-dan-aplikasinya-di-indonesia/>.
- [2] E. Bøckmann and S. Steen, "Model test and simulation of a ship with wavefoils," *Appl. Ocean Res.*, vol. 57, pp. 8–18, 2016, doi: 10.1016/j.apor.2016.02.002.
- [3] M. Terziev, T. Tezdogan, and A. Incecik, "A geosim analysis of ship resistance decomposition and scale effects with the aid of CFD," *Appl. Ocean Res.*, vol. 92, no. September, pp. 1–17, 2019, doi: 10.1016/j.apor.2019.101930.
- [4] J. R. Saripilli and D. Sen, "Numerical studies on effects of slosh coupling on ship motions and derived slosh loads," *Appl. Ocean Res.*, vol. 76, no. April, pp. 71–87, 2018, doi: 10.1016/j.apor.2018.04.009.
- [5] A. S. Mujahid and K. Priohutomo, "Studi Kelayakan Desain Kapal Hisap Tambang," *Wave J. Ilm. Teknol. Marit.*, vol. 12, no. 2, pp. 81–88, 2018, doi: 10.29122/jurnalwave.v12i2.3461.
- [6] G. Regatama, W. Amiruddin, and I. P. Mulyatno, "Studi Perancangan Kapal LNG 3150DWT," *Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 2, pp. 152–160, 2017.
- [7] R. S. Ryadenata, "Desain Rantai Pasok dan Basic Desain Kapal LNG untuk Distribusi LNG," 2016.
- [8] E. V. Lewis, *Principles of Naval Architects - Resistance, Propulsion and Vibration*, vol. II. The Society of Naval Architects and Marine Engineer, 1988.
- [9] R. P. and G. ITTC, "Predicting Powering Margins," *ITTC*, vol. 7.5-02, no. 03–01.5, pp. 1–10, 2017.
- [10] J. Holtrop and G. . Mennen, "An Approximate Power Prediction Method," *MARIN*, no. 1982, pp. 166–170, 1982.
- [11] T. Szelangiewicz and K. Żelazny, "Ship service speeds and sea margins," *Zesz. Nauk. Akad. Morskiej w Szczecinie*, vol. nr 48 (120, no. 120, pp. 43–50, 2016, doi: 10.17402/174.